



## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **09165620 A**(43) Date of publication of application: **24.06.97**

(51) Int. Cl

**C21D 8/10**  
**C21D 9/08**  
**C22C 38/00**  
**C22C 38/12**  
**C22C 38/14**

(21) Application number: **07325822**(22) Date of filing: **14.12.95**(71) Applicant: **NKK CORP**(72) Inventor: **FUKAI HIDEAKI**  
**NAGAE MORIYASU****(54) PRODUCTION OF BUILDING USE THICK FIRE RESISTANT STEEL TUBE LOW IN YIELD RATIO****(57) Abstract:**

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To produce an excellent building use thick fire resistant steel tube with high productivity by rolling a steel having a specified compsn. under specified conditions to form a steel plate, executing heating to a two phase region, subjecting the same to bending from the edge parts of the steel plate, forming it into a tubular shape at the center part and thereafter executing cooling.

**SOLUTION:** A slab contg., by weight, 0.05 to 0.25% C, 0.10 to 2.00% Si, 0.5 to 2.0% Mn, 0.10 to 0.60% Mo, 0.01 to 0.1% V, 0.002 to 0.20% sol.Al and 0.001 to 0.02% Ni or furthermore contg. specified small amounts of Nb, Ti, Cr, B, Ca or the like is subjected to hot rolling at 30% cumulative draft from the Ar<sub>3</sub> to the recrystallization temp. region. This hot rolled plate is heated to the two phase region of the Ac<sub>1</sub> to Ac<sub>3</sub>, working into a tubular shape is started from the edge parts of the steel plate in the temp. range of the Ar<sub>1</sub> or above, and the tubular working is finished at the center part of the steel plate. Next, cooling is executed at a cooling rate of P°C/sec to 100×P<sup>2</sup>°C/sec, where the value of Pcm in the steel shown by the formula 1 is defined as P to form its microstructure into the one essentially consisting of

ferrite + bainite and in which insular martensite is present by 25%, by which the building use thick fire resistant steel tube low in a yield ratio can be produced.

COPYRIGHT: (C)1997,JPO

$$P_{cm} = [C] + [Si] / 30 + [Mn] / 20 + [Cu] / 20 + [Ni] / 60 + [Cr] / 20 + [Mo] / 15 + [V] / 10 + 5 \times [B]$$

(19) 日本国特許庁 (J P)

## (12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平9-165620

(43) 公開日 平成9年(1997)6月24日

(51) Int.Cl. <sup>6</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
C 2 1 D 8/10 9/08		9270-4K	C 2 1 D 8/10 9/08	A E
C 2 2 C 38/00 38/12 38/14	3 0 1		C 2 2 C 38/00 38/12 38/14	3 0 1 Z
審査請求 未請求 請求項の数2 O L (全 8 頁)				

(21) 出願番号 特願平7-325822

(22) 出願日 平成7年(1995)12月14日

(71) 出願人 000004123

日本鋼管株式会社

東京都千代田区丸の内一丁目1番2号

(72) 発明者 深井 英明

東京都千代田区丸の内一丁目1番2号 日

本鋼管株式会社内

(72) 発明者 長江 守康

東京都千代田区丸の内一丁目1番2号 日

本鋼管株式会社内

(74) 代理人 弁理士 鈴江 武彦

(54) 【発明の名称】 低降伏比の建築用厚肉耐火鋼管の製造方法

## (57) 【要約】

【課題】 経済性や生産性を損なうことなく、板厚各部において高強度および低降伏比を達成することが可能で、かつ高温においても強度低下の少ない厚肉の建築用耐火鋼管柱の製造方法を提供すること。

【解決手段】 重量%で、C:0.05~0.25%、Si:0.10~2.00%、Mn:0.5~2.0%、Mo:0.10~0.60%、V:0.01~0.1%、sol.Al:0.002~0.20%、N:0.001~0.02%を含有する鋼に、再結晶温度以下かつA<sub>r3</sub>以上の温度域において累積圧下率が30%以上の熱間圧延を施して鋼板にし、その鋼板をA<sub>c1</sub>以上でかつA<sub>c3</sub>以下の二相領域に加熱し、A<sub>r1</sub>以上の温度域から管状への加工を板端部より開始し、板中央部にて終了して、その後P<sub>cm</sub>をPとした場合にP℃/sec以上かつP<sup>2</sup>℃/sec以下の速度で冷却して、フェライト+ベイナイトを主体とし島状マルテンサイトが5%以下のミクロ組織の厚肉の建築用耐火鋼管を得る。

1

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 重量%で、C：0.05～0.25%、Si：0.10～2.00%、Mn：0.5～2.0%、Mo：0.10～0.60%、V：0.01～0.1%、sol. Al：0.002～0.20%、N：0.001～0.02%を含有する鋼に、再結晶温度以下かつA<sub>r3</sub>以上の温度域において累積圧下率が30%以上の熱間圧延を施して鋼板にし、その鋼板をA<sub>c1</sub>以上でかつA<sub>c3</sub>以下の二相領域に加熱し、A<sub>r1</sub>以上の温度域から管状への加工を板端部より開始し、板中央部にて終了して、その後、以下に示す鋼のP<sub>cm</sub>の値をPとしたときに、P℃/sec以上かつ100×P<sup>2</sup>℃/sec以下の速度で冷却して、ミクロ組織を、フェライト+ベイナイトを主体とし、島状マルテンサイトが5%以下の組織にすることを特徴とする低降伏比の建築用厚肉耐火鋼管の製造方法。

$$P_{cm} = [C] + [Si] / 30 + [Mn] / 20 + [Cu] / 20 + [Ni] / 60 + [Cr] / 20 + [Mo] / 15 + [V] / 10 + 5 \times [B]$$

(ただし[ ]は各元素の重量%で表した濃度を示す。)

【請求項2】 重量%で、C：0.05～0.25%、Si：0.10～2.00%、Mn：0.5～2.0%、Mo：0.10～0.60%、V：0.01～0.1%、sol. Al：0.002～0.20%、N：0.001～0.02%を含有し、さらに(i) Nb+V+Tiが0.2%以下となる範囲のNbおよびTiのうち少なくとも1種、(ii) Cu、NiおよびCrの少なくとも1種を0.01～1.5%、(iii) B：0.005～0.005%、および(iv) Ca：0.005～0.005%の(i)～(iv)のうち少なくとも1種を含有する鋼に、再結晶温度以下かつA<sub>r3</sub>以上の温度域において累積圧下率が30%以上の熱間圧延を施して鋼板にし、その鋼板をA<sub>c1</sub>以上でかつA<sub>c3</sub>以下の二相領域に加熱し、A<sub>r1</sub>以上の温度域から管状への加工を板端部より開始し、板中央部にて終了して、その後、鋼のP<sub>cm</sub>の値をPとしたときに、P℃/sec以上かつ100×P<sup>2</sup>℃/sec以下の速度で冷却して、ミクロ組織を、フェライト+ベイナイトを主体とし、島状マルテンサイトが5%以下の組織にすることを特徴とする低降伏比の建築用厚肉耐火鋼管の製造方法。

$$P_{cm} = [C] + [Si] / 30 + [Mn] / 20 + [Cu] / 20 + [Ni] / 60 + [Cr] / 20 + [Mo] / 15 + [V] / 10 + 5 \times [B]$$

(ただし[ ]は各元素の重量%で表した濃度を示す。)

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は高層ビルや海洋構造物などに用いられる低降伏比でかつ高温において強度低

2

下の少ない40～150mm程度の厚肉の建築用耐火鋼管の製造方法に関する。

## 【0002】

【従来技術】 高層ビルや海洋構造物等に用いられる厚肉鋼管には、高強度・高靱性・低降伏比・高溶接性等の性能が要求される。そこで比較的薄肉の鋼管の場合、低成分系の組成を採用して溶接性を確保するとともに、制御圧延や制御冷却などの技術を駆使して高強度かつ高靱性の鋼板を製造し、冷間加工によって管状に成形している。この場合、管状への成形時に加工硬化によって材質変化が生じるので、所定の特性を達成するために、成形後に応力除去処理等の熱処理が必要となる。

【0003】 一方、建築物の高層化が進む現在、建築用鋼管柱には厚肉化の傾向にある。厚肉鋼管の場合には、加工時のプレス装置の荷重の観点から冷間成形は不可能であり、温間成形や熱間成形が採用される。

【0004】 しかし製管に熱間成形を採用した場合には、制御圧延等によって得られた強度への効果が消失してしまうため、高成分系の組成の材料が用いられることになるが、高成分系では靱性や溶接性の低下が生じ、この点で好ましくない。

【0005】 また、温間成形に関して、特開昭62-54018号公報には、750～400℃のA<sub>c1</sub>以下の温度域に再加熱して、直ちにあるいは放冷後750～250℃の温度域にて加工することにより、靱性などを優れたものにする旨開示されている。

【0006】 一方、建築用鋼管柱の重要な特性の一つである低降伏比を得る方法として、以下に示す方法が提案されている。特開平3-87318号公報には、鋼管をA<sub>c3</sub>-250℃～A<sub>c3</sub>-20℃の温度域に加熱しその後水冷するか、あるいはこれらの熱処理後に加工歪みを付与して焼き戻す方法が提案されている。また、特開平3-87317号公報では、鋼管をA<sub>c3</sub>以上に加熱した後に空冷し、A<sub>r3</sub>-250℃～A<sub>r3</sub>-20℃の温度域から水冷するか、あるいはこれらの熱処理後に加工歪みを付与して焼き戻す方法が提案されている。さらに、特開平4-321号公報には、鋼管をA<sub>c3</sub>-200℃以上の温度に加熱し、A<sub>c3</sub>-200℃以上で歪付与を開始し、A<sub>c3</sub>-200℃～A<sub>c3</sub>-20℃の温度域で歪付与を終了して、水冷した後に焼き戻す方法が提案されている。しかしながら、これらの方法では鋼管に複雑な処理を施すことになり、経済性および生産性を著しく損なうことになる。

【0007】 さらに、近年建設コスト削減の観点から耐火被覆の低減が求められており、600℃での降伏応力が常温の2/3以上を有する耐火特性も要求されている。耐火特性を確保する手段として、特開平4-128315号、特開平4-168218号、特開平4-168219号、特開平4-176821号、特開平4-228521号の各公報に開示されているような、Mo、

3

V、Nb等の成分元素を添加し、所定の温度で歪みを与えて、所定の速度で冷却を行う方法が提案されている。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】以上のように、厚肉の建築用鋼管柱の製造において、冷間加工では成形機の能力の観点から製造が困難であり、また熱間成形においては制御圧延の効果が失われるので組成を高強度の高成分系にしなければならず、そのため靱性や溶接性が損なわれるなどの不都合が生じる。

【0009】一方、温間成形の場合でも、Ac<sub>1</sub>以下の温度に加熱後に温間成形する場合には、加工中の温度降下により変形抵抗が増大する傾向にあり、また温度降下とともに降伏比が上昇する傾向があり、低降伏比が達成されない問題が生ずる。また、低降伏比を達成するために鋼管に対して種々の熱処理を施すことが試みられているが、これらの方法は全て複雑で、経済性を損ねる不都合が生じる。

【0010】また、耐火性確保の手段として、特開平4-128315号、特開平4-168218号、特開平4-168219号、特開平4-176821号、特開平4-228521号の各公報に開示されているような、Mo、V、Nb等の成分元素を添加し、所定の温度で歪みを与えて、所定の速度で冷却を行う方法の場合には、Moのような焼き入れ性を高め、また島状マルテンサイトを形成しやすくする元素の多量添加により、高降伏比や靱性低下の不都合を生じる。

【0011】さらに、鋼板から鋼管への成形に際しては、鋼管外面で引張応力が、鋼管内面で圧縮応力が働き、応力の中立軸となる板厚中心で応力が働かないという現象が生じるので、温間あるいは熱間成形の場合、同じ加工温度でも板厚中心では内外表面に比較して低降伏比となるが強度が著しく低く、また逆に内外表では所定の強度を達成するが低降伏比を達成しない傾向にある。また、温間成形や熱間成形の場合には、鋼板内の各部によって加工を受ける温度が異なり、比較的高温で加工を受ける部位では低降伏比となるが強度が低く、逆に低温で加工を受ける部位では所定の強度を達成することが可能だが低降伏比が達成されない傾向にある。このため、温間成形や熱間成形による製管において、板厚方向での機械的特性の分布は加工温度がもっとも低くなる最終加工部で最大となる。

【0012】本発明はかかる事情に鑑みてなされたものであって、経済性や生産性を損なうことなく、板厚各部において高強度および低降伏比を達成することが可能で、かつ高温においても強度低下の少ない厚肉の建築用耐火鋼管の製造方法を提供することを目的とする。

【0013】

【課題を解決するための手段】本願発明者らは、製管に際して大きい加工能力を有する設備を必要とせず、靱性の劣化を引き起こすことなく、板厚各部において高強度

4

および低降伏比を達成し、かつ高温においても強度低下の少ない鋼管の製造方法について詳細に検討した結果、特定の成分組成の鋼を特定の圧延条件で圧延し、その鋼板を二相域に加熱して、その温度域から製管のための曲げ加工を板端部より開始し、板中央部にて終了させ、その後所定の冷却速度で冷却して、ミクロ組織を制御することにより、上記の課題を解決することが可能であることを見出した。すなわち、従来から二相域への加熱により低降伏比が得られることは知られていたが、同時に靱性の低下を招くため、この温度域での加工は行われていなかった。しかし、上述のように成分や圧延条件、さらに温間での製管順序および冷却速度を制御することによって、ミクロ組織を調整して靱性劣化を抑制し、板厚各部において室温および高温における高強度、ならびに低降伏比を達成することができる。

【0014】本発明はこのような知見に基づいて完成されたものであり、第1に、重量%で、C:0.05~0.25%、Si:0.10~2.00%、Mn:0.5~2.0%、Mo:0.10~0.60%、V:0.01~0.1%、sol. Al:0.002~0.20%、N:0.01~0.02%を含有する鋼に、再結晶温度以下かつAr<sub>3</sub>以上の温度域において累積圧下率が30%以上の熱間圧延を施して鋼板にし、その鋼板をAc<sub>1</sub>以上でかつAc<sub>3</sub>以下の二相領域に加熱し、Ar<sub>1</sub>以上の温度域から管状への加工を板端部より開始し、板中央部にて終了して、その後、以下に示す鋼のP<sub>cm</sub>の値をPとしたときに、P℃/sec以上かつ100×P<sup>2</sup>℃/sec以下の速度で冷却して、ミクロ組織を、フェライト+ベイナイトを主体とし、島状マルテンサイトが5%以下の組織にすることを特徴とする低降伏比の建築用厚肉耐火鋼管の製造方法を提供するものである。

【0015】第2に、重量%で、C:0.05~0.25%、Si:0.10~2.00%、Mn:0.5~2.0%、Mo:0.10~0.60%、V:0.01~0.1%、sol. Al:0.002~0.20%、N:0.01~0.02%を含有し、さらに(i)Nb+V+Tiが0.2%以下となる範囲のNbおよびTiのうち少なくとも1種、(ii)Cu、NiおよびCrの少なくとも1種を0.01~1.5%、(iii)B:0.0005~0.005%、および(iv)Ca:0.0005~0.005%の(i)~(iv)のうち少なくとも1種を含有する鋼に、再結晶温度以下かつAr<sub>3</sub>以上の温度域において累積圧下率が30%以上の熱間圧延を施して鋼板にし、その鋼板をAc<sub>1</sub>以上でかつAc<sub>3</sub>以下の二相領域に加熱し、Ar<sub>1</sub>以上の温度域から管状への加工を板端部より開始し、板中央部にて終了して、その後、以下に示す鋼のP<sub>cm</sub>の値をPとしたときに、P℃/sec以上かつ100×P<sup>2</sup>℃/sec以下の速度で冷却して、ミクロ組織を、フェライト+ベイナイトを主体とし、島状マルテンサイトが5%以下の組織にするこ

とを特徴とする低降伏比の建築用厚肉耐火鋼管の製造方法を提供するものである。

$$\text{【0016】 } P_{cm} = [C] + [Si] / 30 + [Mn] / 20 + [Cu] / 20 + [Ni] / 60 + [Cr] / 20 + [Mo] / 15 + [V] / 10 + 5 \times [B]$$

(ただし [ ] は各元素の重量%で表した濃度を示す。)

#### 【0017】

【発明の実施の形態】 以下、本発明に係る厚肉耐火鋼管の製造方法について、組成、圧延条件、成形条件、ミクロ組織に分けて作用とともに詳細に説明する。

(組成) 本発明では、基本成分元素としてC、Si、Mn、Mo、V、sol Al、およびNを含有し、選択成分として、(i) Nb、Tiの少なくとも1種、(ii) Cu、NiおよびCrの少なくとも1種、(iii) B、および(iv) Caの(i) ~ (iv) のうち少なくとも1種が添加される。

【0018】 これら成分元素の限定理由を以下に説明する。なお、以下の説明において%表示はすべて重量%を示す。

C: この種の鋼の強度を安価にかつ効果的に確保するためにはCは0.05%は必要である。しかし、0.25%を超えると低温割れや高温割れ等が発生し、溶接性や靱性を損なう。このため、C含有量を0.05~0.25%の範囲とする。

【0019】 Si: Siは脱酸剤として添加されるが、0.10%未満では十分な脱酸効果が得られず、一方2.00%を越えて添加されると靱性や溶接性の劣化を招く。このため、Si含有量を0.10~2.00%の範囲とする。

【0020】 Mn: Mnは鋼の強度および靱性の向上に有効な鋼の基本元素として添加されるが、0.5%未満ではその効果が小さく、また2.0%を超えると溶接性や靱性が著しく劣化する。このため、Mn含有量を0.5~2.0%の範囲とする。

【0021】 Mo: Moは固溶強化による板厚各部において室温および高温にて高強度化を達成する効果を有するとともに、微量添加では焼き入れ性の増大による組織変化により靱性の劣化を抑制する効果がある。しかし、その含有量が0.10%未満ではこれらの効果が十分ではなく、高強度化および靱性劣化抑制が不十分となる。また、0.60%を越えて多量に添加されると溶接性や靱性を損なうとともに、経済性をも損なってしまう。このため、Mo含有量を0.10~0.60%の範囲とする。

【0022】 V: Vは窒化物を形成して高温強度を向上させるが、0.01%未満ではその効果が小さく、また0.1%を超えると靱性低下につながる。このため、V含有量を0.01~0.1%の範囲とする。

【0023】 sol Al: sol Alは脱酸剤として添加されるが、0.002%未満では十分な脱酸効果が得られず、また0.20%程度の添加でその効果が飽和し、それより多く添加することは経済的な面から望ましくない。このため、sol Al含有量を0.002~0.20%の範囲とする。

【0024】 N: Nは窒化物を形成して高温強度を向上させるが、0.001%未満ではその効果が小さく、また0.02%を超えると靱性低下につながる。このため、N含有量を0.001~0.02%の範囲とする。

【0025】 以上が基本成分であるが、以下に示すNb、Ti、Cu、Ni、Cr、B、およびCaを選択成分として添加することによって、高温強度の向上、靱性改善、介在物の形態制御が可能となり、溶接性も改善される。

【0026】 Nb、Ti: NbおよびTiはVと同様に、析出硬化により高温にて高強度化を達成する効果がある。しかし、これらNbおよびTi、ならびに必須成分として添加されるVの含有量が、Nb+V+Tiで0.20%を超えるような範囲になると、室温において極めて高強度となり、また靱性の低下につながる。このため、NbおよびTiは、Nb+2V+1.5Tiが0.20%以下となるような範囲で含有される。

【0027】 Cu、Ni、Cr: Cu、Ni、Crは固溶強化や焼き入れ性改善により靱性を大きく損なわずに高強度化を計ることができるが、溶接性や経済性の観点から、これらの含有量はCu、NiおよびCrの少なくとも1種を0.01~1.5%に範囲とする。

【0028】 Ca: Caは介在物の形態を球状化させ、これにより水素誘起割れやラメラテアなどを防止する効果があるが、0.0005%未満ではその効果が得られず、0.005%程度の添加で効果は飽和し、それより多量に添加することは経済的な面から好ましくない。このため、Ca含有量を0.0005~0.005%の範囲とする。

【0029】 B: Bは焼き入れ性改善により靱性を大きく損なわずに高強度化を図ることができるが、その含有量が0.0005%未満ではその効果が十分に得られず、また0.005%程度の添加でその効果は飽和し、それより多量に添加することは経済的な面から好ましくない。このため、B含有量を0.0005~0.005%の範囲とする。

【0030】 (圧延条件) 本発明においては、上述のような組成を有する鋼に対し、再結晶温度以下かつAr<sub>3</sub>以上の温度域において累積圧下率が30%以上の熱間圧延を施して鋼板とする。

【0031】 ここで、再結晶温度以下で30%以上の累積圧下率の熱間圧延を施すこととしたのは、未再結晶域で十分な圧延を行うことにより、制御圧延の効果を十分に発揮させて微細なオーステナイト粒を得るためであ

る。また、 $A_{r3}$  以上の温度域で熱間圧延を行うため、圧延終了温度も当然に  $A_{r3}$  以上となるが、このようにしたのは、圧延によって伸展した組織の形成を抑制するためである。

【0032】なお、再結晶温度は成分系によって異なるが、目安として Nb 無添加系で  $900^{\circ}\text{C}$  程度、Nb 添加系で  $950^{\circ}\text{C}$  程度である。また、 $A_{r3}$  も C や Mn 含有量によって変化するが、 $750^{\circ}\text{C}$  程度が目安となる。

【0033】(成形条件) 本発明においては、以上のようにして圧延した鋼板を  $A_{c1}$  以上でかつ  $A_{c3}$  以下の二相領域の温度範囲に加熱し、 $A_{r1}$  以上の温度域から管状への加工を板端部より開始し、板中央部にて終了して、その後、鋼の  $P_{cm}$  の値を  $P$  としたときに、 $P^{\circ}\text{C}/\text{sec}$  以上かつ  $100 \times P^2$   $^{\circ}\text{C}/\text{sec}$  以下の速度で冷却して、マイクロ組織をフェライト+ベイナイトを主体とし、島状マルテンサイトが 5% 以下の組織にする。

【0034】なお、ここで  $P_{cm} = [C] + [Si]/30 + [Mn]/20 + [Cu]/20 + [Ni]/60 + [Cr]/20 + [Mo]/15 + [V]/10 + 5 \times [B]$  (ただし  $[ ]$  は各元素の重量%で表した濃度を示す。) である。

【0035】ここで鋼板を  $A_{c1}$  以上でかつ  $A_{c3}$  以下の二相領域の温度範囲に加熱して、 $A_{r1}$  以上の温度域から管状への加工を開始することとしたのは、変形抵抗を低下させ、大きな設備能力を必要とせずに管状に成形するためと、二相域での加工により低降伏比を達成するためである。

【0036】また、その後  $P^{\circ}\text{C}/\text{sec}$  以上かつ  $100 \times P^2$   $^{\circ}\text{C}/\text{sec}$  以下の速度で冷却することとしたのは、この範囲で冷却することにより鋼板のマイクロ組織を調整し、高降伏比化および低靱性化を抑制する効果があるからである。冷却速度が  $P^{\circ}\text{C}/\text{sec}$  未満では組織の粗大化を招き低靱性となり、 $100 \times P^2$   $^{\circ}\text{C}/\text{sec}$  より速いとフルベイナイト組織となって高降伏比化を招く。

【0037】さらに、板端部より加工を開始し、板中央部にて加工を終了することとしたのは、加工中の温度低下の速い板端部を初期に成形し、温度低下の比較的遅い板中央部を後から成形することによって、板各部における加工の際の温度差を縮小する効果が得られるからである。

【0038】(マイクロ組織) ミクロ組織を、フェライト+ベイナイトを主体とし、島状マルテンサイトを 5% 以下にした組織に制御することとしたのは、このようにすることにより低降伏比化と靱性を確保する効果が得られるためである。フルベイナイト組織では高降伏比となり、また島状マルテンサイトが 5% より多いと靱性が著しく低下する。このため、マイクロ組織を、島状マルテンサイトを 5% 以下含有するフェライト+ベイナイト組織に制御する。特に低降伏比化のためには、島状マルテン

サイトを 1% 以上とすることが好ましい。

【0039】なお、管状への成形は、プレスベンド等の円筒に加工する際に通常用いられる方法を用いて行うことが好適であるが、その方法は限定されるものではない。

(作用) ここで本発明を用いることにより、板厚各部において室温および高温における高強度、ならびに室温での低降伏比を達成することができるのは以下の作用による。

10 【0040】基本成分として C、Si、Mn、Mo、V、sol. Al、および N を含有し、または、さらに (i) Nb、Ti の少なくとも 1 種、(ii) Cu、Ni および Cr の少なくとも 1 種、(iii) B、および (iv) Ca の (i) ~ (iv) のうち少なくとも 1 種を選択成分として含有し、これらを特定の含有量に制御し、さらに温間での製管の条件および順序を制御することによって、板厚各部において室温および高温で高強度を達成する。つまり、鋼管柱の製造において、管状への成形時の歪み分布によって材質の変化が生じることにより、板厚中心部で低強度化が生じ、内外表で高降伏比化が生じるが、本発明では、基本成分のうち Mo および V あるいは選択的に添加される元素による大きな固溶強化の効果、および温間での製管の順序の制御による鋼板内での加工温度の分布の縮小化により、板厚方向における材質の変化が小さく、かつ高強度を達成することができる。

20 【0041】また、鋼板を  $A_{c1}$  以上でかつ  $A_{c3}$  以下の二相領域の温度範囲に加熱して、 $A_{r1}$  以上の温度域から管状への加工を開始することは、変形抵抗を低下させ、大きな設備能力を必要とせずに管状に成形すること、および二相域での加工により低降伏比を達成する作用がある。また、その後  $P^{\circ}\text{C}/\text{sec}$  以上かつ  $100 \times P^2$   $^{\circ}\text{C}/\text{sec}$  以下の速度で冷却して、マイクロ組織を、フェライト+ベイナイトを主体とし、島状マルテンサイトが 5% 以下とした組織に制御することは、組織の微細化や島状マルテンサイト+フェライト+ベイナイトとすることで低降伏比を達成する効果がある。なお、

30 【0042】

【実施例】以下、本発明の具体的な実施例について説明する。

40 (実施例 1) 表 1 に示す組成の鋼を、 $1150^{\circ}\text{C}$  に加熱して粗圧延後、 $900 \sim 800^{\circ}\text{C}$  の温度域で累積圧下率 40% の仕上げ圧延を行い、板厚 70 mm の鋼板を製造した。これらの鋼板を  $800^{\circ}\text{C}$  に加熱後、直ちにプレスベンドによって管状への成形を板端部より開始し、板中央部にて終了し、その後  $0.5^{\circ}\text{C}/\text{sec}$  の速度で冷却した。このときの鋼管の外径  $D$  と板厚  $t$  との比  $D/t$  は 10 とした。

50 【0043】このようにして成形した鋼管において、加工温度が最も低く板厚方向での機械的性質の分布が大きい最終加工部での機械的性質、板厚中央の  $600^{\circ}\text{C}$  での

降伏強度 (Y S)、および表層近傍での島状マルテンサイト  
の体積分率を表2に示す。 \* 【0044】 \* 【表1】

符 号	化 学 成 分 (wt%)														
	C	S i	M n	C u	N i	C r	M o	N b	V	T i	B	Sol. Al	T. N.	C a	Nb+V+Ti
A 0 1	0.11	0.30	1.01				0.03		0.049	0.007		0.025	0.006		0.056
A 0 2	0.17	0.36	1.15	0.04		0.09	0.11	0.09	0.051	0.005	0.0007	0.021	0.005	0.0007	0.146
A 0 3	0.11	0.28	0.99	0.03			0.34	0.11	0.053	0.004		0.025	0.006		0.167
A 0 4	0.11	0.27	1.03	0.01	0.02		0.48		0.058	0.005		0.019	0.007	0.0011	0.063
A 0 5	0.12	0.31	1.01			0.06	0.51		0.055	0.008		0.022	0.004		0.063
A 0 6	0.12	0.29	1.04				0.53	0.03	0.055	0.008		0.023	0.004		0.093
A 0 7	0.13	0.35	0.98	0.01	0.02	0.50	0.56	0.07	0.051	0.004	0.0008	0.028	0.006		0.125
A 0 8	0.12	0.32	1.00		0.04	0.20	0.57		0.052	0.008	0.0005	0.031	0.004	0.0009	0.061
A 0 9	0.06	0.29	1.11			0.30	0.58	0.08	0.053	0.011		0.019	0.007		0.144
A 1 0	0.10	0.33	0.98				0.72		0.048	0.009		0.025	0.005		0.057
A 1 1	0.09	0.31	1.12				0.13		0.003	0.008		0.027	0.004		0.011
A 1 2	0.11	0.28	1.04	0.05			0.48	0.05	0.055	0.007	0.0006	0.026	0.008		0.112
A 1 3	0.10	0.27	1.03	0.02			0.51		0.058	0.006		0.024	0.005	0.0011	0.064
A 1 4	0.11	0.32	1.01				0.49	0.06	0.091	0.012		0.024	0.007		0.163
A 1 5	0.14	0.29	0.98				0.52		0.201	0.009		0.021	0.005		0.210

【0045】

20 【表2】

	製管後の機械的性質								表層近傍の島状 マルテンサイト の体積分率 (%)	Pcm	100 × Pcm <sup>2</sup>	備考	
	表 層 部				板 厚 中 央								
	YS	TS	YR	vE	YS	TS	YR	vE					Y <sub>s</sub> 800℃ (MPa)
	(MPa)	(MPa)	(%)	(J)	(MPa)	(MPa)	(%)	(J)					
A01	299	470	64	324	299	455	64	333	97	1.0	0.178	3.147	比較例
A02	338	502	67	294	328	492	66	302	220	1.1	0.262	6.861	本発明例
A03	357	522	68	274	341	517	66	297	227	1.2	0.198	3.932	本発明例
A04	371	544	68	259	362	538	67	275	231	1.6	0.209	4.374	本発明例
A05	394	561	70	230	392	554	71	258	236	2.0	0.223	4.988	本発明例
A06	390	564	69	230	394	554	71	255	234	2.4	0.223	4.951	本発明例
A07	396	560	71	232	394	558	71	254	237	1.9	0.269	6.913	本発明例
A08	397	568	70	237	385	549	70	253	238	2.4	0.287	5.619	本発明例
A09	396	567	70	214	382	551	69	231	237	2.3	0.184	3.391	本発明例
A10	421	600	70	25	414	600	69	35	254	5.1	0.213	4.524	比較例
A11	311	483	64	294	307	472	65	311	92	1.2	0.165	2.732	比較例
A12	393	556	71	224	384	547	70	241	235	1.4	0.214	4.594	本発明例
A13	395	555	71	238	388	542	71	249	237	1.1	0.201	4.052	本発明例
A14	414	571	73	222	400	561	71	248	249	1.4	0.219	4.534	本発明例
A15	439	593	74	26	422	583	72	31	265	5.2	0.253	6.423	比較例

注1. vEは0℃でのシャルピー吸収エネルギー

2. YRは降伏比

3. 組織は全てフェライト+ベイナイトを主体としたもの

【0046】表2に示すように、本発明の範囲内の成分組成のものでは、0℃におけるシャルピー吸収エネルギーvEが200J以上の高靱性、および80%以下の低降伏比が得られた。さらに、板厚中央にて600℃においても降伏強度 (Y S) が200MPa以上の高強度が得られた。

【0047】これに対して、本発明の範囲を外れる成分組成のものは、板厚表層部あるいは中央部にて0℃におけるシャルピー吸収エネルギーvEが100J未満の低靱性を示し、また板厚中央において600℃で降伏強度 (Y S) が100MPa未満の低強度となった。

【0048】(実施例2)表1の符号A05の組成の鋼

を、1150℃に加熱して粗圧延後、表3に示すように、1000~650℃の温度域で累積圧下率20~50%の仕上げ圧延を行い、板厚70mmの鋼板を製造した。この鋼板を800℃に加熱後、直ちにプレスベンドによって管状への成形を板端部より開始し、板中央部にて終了して、その後0.5℃/secの速度で冷却した。このときの鋼管の外径Dと板厚tとの比D/tは1.0とした。

【0049】このようにして成形した鋼管において、最終加工部での機械的性質、板厚中央の600℃近傍での降伏強度 (Y S)、および表層近傍での島状マルテンサイトの体積分率を表3に示す。

【0050】

【表3】

	圧延温度域  (℃)	累積圧下率  (%)	製管後の機械的性質										表層近傍 の島状 マルテン サイトの 体積分率  (%)	備 考
			表 層 部				板 厚 中 央							
			Y S (MPa)	T S (MPa)	Y R (%)	v E (J)	Y S (MPa)	T S (MPa)	Y R (%)	v E (J)	Y s 600℃ (MPa)			
B O 1	1000~900	40	380	440	86	89	369	429	86	94	227	0.5	比 較 例	
B O 2	850~800	40	395	561	70	243	381	550	69	270	237	1.3	本 発 明 例	
B O 3	900~800	40	394	561	70	230	392	554	71	258	236	2.0	本 発 明 例	
B O 4	900~850	40	390	565	69	231	378	553	68	267	234	1.7	本 発 明 例	
B O 5	900~650	40	375	584	64	26	359	569	63	37	224	6.2	比 較 例	
B O 6	900~800	50	389	592	66	223	375	581	65	264	233	1.1	本 発 明 例	
B O 7	900~800	20	401	557	72	36	395	542	73	33	241	5.1	比 較 例	

注1. v Eは0℃でのシャルピー吸収エネルギー

2. Y Rは降伏比

3. 組織は全てフェライト+ベイナイトを主体としたもの

【0051】表3に示すように、本発明の範囲内の製造条件でかつ島状マルテンサイト体積分率が5%以下のものでは、板厚各部において0℃におけるシャルピー吸収エネルギーv Eが200 J以上の高靱性、および80%以下の低降伏比が得られた。さらに、板厚中央にて600℃において降伏強度(Y S)が200 MPa以上の高強度が得られた。

【0052】これに対して、本発明の範囲を外れる条件のものは、板厚表層部あるいは中央部にて0℃におけるシャルピー吸収エネルギーv Eが100 J未満の低靱性を示すか、または80%を超える高降伏比となった。

【0053】(実施例3)表1の符号A 05の組成の鋼を、1150℃に加熱して粗圧延後、900~800℃\*30

\*の温度域で累積圧下率40%の仕上げ圧延を行い、板厚70 mmの鋼板を製造した。この鋼板を、表4に示すように、1000~700℃に加熱後、プレスベンドによって管状への成形を850~500℃で板端部より開始し、板中央部にて終了して、その後0.01~100℃/secの速度で冷却した。このときの鋼管の外径Dと板厚tとの比D/tは10とした。

【0054】このようにして成形した鋼管において、最終加工部での機械的性質、板厚中央の600℃近傍での降伏強度(Y S)、および表層近傍での島状マルテンサイトの体積分率を表4に示す。

【0055】

【表4】

	圧延 加熱 温度 (℃)	成形 開始 温度 (℃)	冷 却 速 度 (℃/sec)	製 管 後 の 機 械 的 性 質								表層近傍 の島状 マルテン サイトの 体積分率	備 考	
				表 層 部				板 厚 中 央						
				Y S	T S	Y R	v E	Y S	T S	Y R	v E			Y s 600t
				(MPa)	(MPa)	(%)	(J)	(MPa)	(MPa)	(%)	(J)	(MPa)	(%)	
C O 1	1000	850	0.5	264	412	64	55	254	401	63	65	152	0.8	比 較 例
C O 2	850	830	0.5	405	562	72	224	395	555	71	236	243	1.1	本 発 明 例
C O 3	800	780	0.01	447	523	85	227	401	497	81	233	271	N D	比 較 例
C O 4	800	780	0.1	379	551	69	211	365	538	68	215	226	3.1	本 発 明 例
C O 5	800	780	0.5	394	564	70	230	392	554	71	258	236	2.0	本 発 明 例
C O 6	800	780	7.0	443	584	76	220	431	564	76	274	268	3.0	本 発 明 例
C O 7	800	780	50	539	621	87	274	525	607	86	294	330	N D	比 較 例
C O 8	770	760	0.5	401	574	70	234	392	562	70	266	242	1.0	本 発 明 例
C O 9	800	500	0.5	535	582	92	229	517	572	90	274	328	0.9	比 較 例
C 1 0	700	680	0.5	547	583	94	226	537	573	94	270	336	N D	比 較 例

注1. v Eは0℃でのシャルピー吸収エネルギー

2. Y Rは降伏比

3. 組織は全てフェライト+ベイナイトを主体としたもの

【0056】表4に示すように、本発明の範囲内の製造条件でかつ島状マルテンサイト体積分率が5%以下のものでは、板厚各部において0℃におけるシャルピー吸収

エネルギーv Eが200 J以上の高靱性、および80%以下の低降伏比が得られた。さらに、板厚中央にて600℃において降伏強度(Y S)が200 MPa以上の高



13

強度が得られた。

【0057】これに対して、本発明の範囲を外れる条件のものは、板厚表層部あるいは中央部にて0℃におけるシャルピー吸収エネルギー $\nu E$ が100J未満の低靱性を示すか、または80%を超える高降伏比となった。なお、上記実施例では鋼管の外径 $D$ と板厚 $t$ との比 $D/t$ を10としたが、これに限定されるものではないことはいうまでもない。

14

【0058】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば、大きな設備能力を必要としない経済性の高い工程により、靱性を損なうことなく、板厚各部において室温および高温で高強度であり、かつ室温で低降伏比である、板厚40mmを越える肉厚の建築用耐火鋼管を製造することが可能となる。